

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-286952

(P2002-286952A)

(43)公開日 平成14年10月3日(2002.10.3)

(51)Int.Cl.

G 0 2 B 6/12

識別記号

F I

G 0 2 B 6/12

テ-マ-ト*(参考)

F 2 H 0 4 7

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 17 頁)

(21)出願番号 特願2001-233783(P2001-233783)

(22)出願日 平成13年8月1日(2001.8.1)

(31)優先権主張番号 特願2001-10370(P2001-10370)

(32)優先日 平成13年1月18日(2001.1.18)

(33)優先権主張国 日本(J P)

(71)出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72)発明者 占部 晴樹

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

(72)発明者 奈良 一孝

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

(74)代理人 100093894

弁理士 五十嵐 清

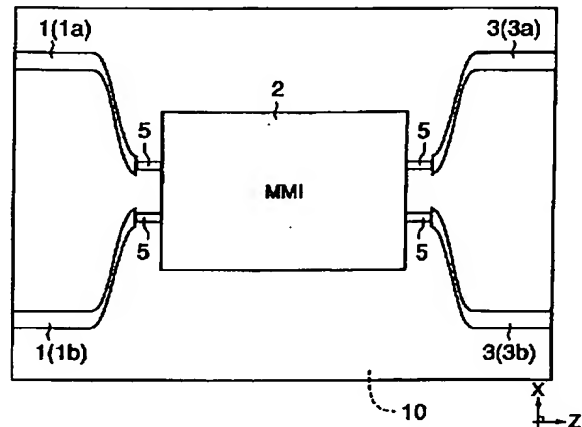
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 導波路型光カブラおよび該導波路型光カブラを用いた光合分波器

(57)【要約】

【課題】 光信号の光入力導波路への入射位置が多少ずれても、マルチモード光干渉導波路による結合効率を設定通りの安定した値とすることができる導波路型光カブラを提供する。

【解決手段】 2本の並設された光入力導波路1a, 1bの出射側にマルチモード光干渉導波路2を接続し、その出射側に2本の並設された光出力導波路3a, 3bを接続する。マルチモード光干渉導波路2は光入力導波路1a, 1bおよび光出力導波路3a, 3bよりも幅広とし、光入力導波路1a, 1bとマルチモード光干渉導波路2の間と、光出力導波路3a, 3bとマルチモード光干渉導波路2の間に狭幅直線導波路5を介設する。狭幅直線導波路5は対応する光入力導波路1a, 1b、光出力導波路3a, 3bの幅よりも狭幅とする。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 1 本以上の並設された光入力導波路と、該光入力導波路の出射側に設けられたマルチモード光干渉導波路と、該マルチモード光干渉導波路の出射側に 1 本以上の並設された光出力導波路とを有し、前記マルチモード光干渉導波路は前記光入力導波路および前記光出力導波路よりも幅広と成しており、1 本以上の光入力導波路とマルチモード光干渉導波路の間と、1 本以上の光出力導波路とマルチモード光干渉導波路の間の少なくとも一方には、対応する光入力導波路または光出力導波路の幅よりも狭幅の狭幅直線導波路が介設されていることを特徴とする導波路型光カブラ。

【請求項 2】 マルチモード光干渉導波路に接続されている導波路とマルチモード光干渉導波路との接続部にはマルチモード光干渉導波路に入力する光のスポットサイズを拡大するインターフェース導波路部が形成されていることを特徴とする請求項 1 記載の導波路型光カブラ。

【請求項 3】 インターフェース導波路部は該インターフェース導波路部の一端側に接続されている導波路よりも幅広で、かつ、前記インターフェース導波路部の他端側に接続されているマルチモード光干渉導波路側に向かうにつれて拡幅する台形状導波路としたことを特徴とする請求項 2 記載の導波路型光カブラ。

【請求項 4】 インターフェース導波路部はマルチモード光干渉導波路側に向かうにつれて拡幅するテーパ形状の導波路としたことを特徴とする請求項 2 記載の導波路型光カブラ。

【請求項 5】 インターフェース導波路部は該インターフェース導波路部の一端側に接続されている導波路よりも幅広で、かつ、前記インターフェース導波路部の他端側に接続されているマルチモード光干渉導波路より狭幅の直線状の導波路としたことを特徴とする請求項 2 記載の導波路型光カブラ。

【請求項 6】 光入力導波路と光出力導波路と狭幅直線導波路は、それぞれシングルモード条件を満たしていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一つに記載の導波路型光カブラ。

【請求項 7】 光入力導波路は 1 本の第 1 の光入力導波路と 1 本の第 2 の光入力導波路を並設して成り、光出力導波路は 1 本の第 1 の光出力導波路と 1 本の第 2 の光出力導波路を並設して成ることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか一つに記載の導波路型光カブラ。

【請求項 8】 請求項 7 記載の導波路型光カブラを 2 つ直列に配列し、一方の導波路型光カブラを第 1 の導波路型光カブラとして他方の導波路型光カブラを第 2 の導波路型光カブラとし、前記第 1 の導波路型光カブラの第 1 の光出力導波路の出射側に前記第 2 の導波路型光カブラの第 1 の光入力導波路を接続して第 1 の連結導波路とし、前記第 1 の導波路型光カブラの第 2 の光出力導波路の出射側に前記第 2 の導波路型光カブラの第 2 の光入力

導波路を接続して第 2 の連結導波路とし、該第 2 の連結導波路と前記第 1 の連結導波路の光路長を互いに異なる構成にしたことを特徴とする導波路型光カブラ。

【請求項 9】 請求項 7 記載の導波路型光カブラを 2 つ直列に配列し、一方の導波路型光カブラを第 1 の導波路型光カブラとして他方の導波路型光カブラを第 2 の導波路型光カブラとし、前記第 1 の導波路型光カブラの第 1 の光出力導波路の出射側に前記第 2 の導波路型光カブラの第 1 の光入力導波路を接続して第 1 の連結導波路とし、前記第 1 の導波路型光カブラの第 2 の光出力導波路の出射側に前記第 2 の導波路型光カブラの第 2 の光入力導波路を接続して第 2 の連結導波路とし、前記第 1 の連結導波路と前記第 2 の連結導波路の少なくとも一方に連結導波路の屈折率を変化させる屈折率可変手段を設けたことを特徴とする導波路型光カブラ。

【請求項 10】 請求項 1 乃至請求項 9 のいずれか一つに記載の導波路型光カブラを複数配列して形成したことを特徴とする光合分波器。

【請求項 11】 請求項 8 または請求項 9 記載の導波路型光カブラを複数並設して第 1 段の導波路型光カブラユニットを形成し、該第 1 段の導波路型光カブラユニットの後段に、前記導波路型光カブラを 1 つ以上並設してなる第 2 段の導波路型光カブラユニットを設け、前記第 1 段の導波路型光カブラユニットの 1 対ずつの導波路型光カブラの出力を前記第 2 段の導波路型光カブラユニットの導波路型光カブラにより合波または分波するという如く、前記導波路型光カブラを複数段に接続して前段の対の導波路型光カブラの光出力を後段の導波路型光カブラで合波または分波する機能を有する構成としたことを特徴とする光合分波器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、主に波長分割多重伝送等の光通信分野に用いられる導波路型光カブラおよび該導波路型光カブラを用いた光合分波器に関するものである。

【0002】

【背景技術】従来、図 19 に示すような導波路型光カブラが提案されている。この導波路型光カブラは、基板 10 上に同図に示す導波路構成を形成したものである。

【0003】この導波路構成は、1 本以上（ここでは 2 本）の並設された光入力導波路 1 と、該光入力導波路 1 の出射側に設けられたマルチモード光干渉導波路（MMI : Multi-Mode Interference）2 と、該マルチモード光干渉導波路 2 の出射側に 1 本以上（ここでは 2 本）並設された光出力導波路 3 とを有している。光入力導波路 1 は 1 本の第 1 の光入力導波路 1 a と 1 本の第 2 の光入力導波路 1 b とを並設して成り、光出力導波路 3 は 1 本の第 1 の光出力導波路 3 a と 1 本の第 2 の光出力導波路 3 b とを並設して成る。

【0004】前記マルチモード光干渉導波路2は、前記光入力導波路1および光出力導波路3よりも幅広と成しており、マルチモード光干渉導波路2の形状は四角形状である。マルチモード光干渉導波路2は、その幅方向（同図におけるX方向）の両端側に光を閉じ込め、かつ、光入力導波路1（1a、1b）から入射された光によって高次モードの光が励振され、該励振された光と入射光の光干渉効果を利用して合分波する機能を有する導波路である。

【0005】図19に示したような導波路型光カブラは、例えば以下のようにして作製される。すなわち、まず、シリコン等の基板10上に、火炎加水分解堆積法を用いてアンダークラッド膜、コア膜を順に形成し、焼結、透明化する。その後、それぞれ、図19に示したような導波路構成の回路が描かれたフォトマスクを介してフォトリソグラフィ、反応性イオンエッチング法にてコア膜にパターンを転写し、コアの導波路構成を形成する。その後、コアを覆うオーバークラッド膜を形成し、該オーバークラッド膜を焼結、透明化して導波路型光カブラとする。

【0006】上記導波路型光カブラにおいては、例えば光入力導波路1aまたは光入力導波路1bから入射した設定波長の光を、光出力導波路3a、3bからそれぞれ50%の結合効率で出射するように設定されている。すなわち、導波路型光カブラの光入力導波路1aから設定波長の光を入射すると、そのうち、50%の強度の設定波長光が光出力導波路3aから出射され、50%の強度の設定波長光が光出力導波路3bから出射される。

【0007】上記導波路型光カブラは相反性を有する光回路であり、光出力導波路3a、3bから光を入射すると、この光はマルチモード光干渉導波路2で結合し、例えば光入力導波路1aから出射する。

【0008】また、図22に示すように、光入力導波路1a、1bとマルチモード光干渉導波路2との間と、マルチモード光干渉導波路2と前記光出力導波路3a、3bとの間に、マルチモード光干渉導波路2側に向かうにつれて拡幅するテーパ形状のテーパ導波路40を形成した導波路型光カブラが特開2000-162454に提案されている。なお、このテーパ導波路40は、その高さ（コアの膜厚）は一定で幅のみマルチモード光干渉導波路2側に向かうにつれて拡幅している。

【0009】この提案の導波路型光カブラは、図19に示した導波路型光カブラとはほぼ同様の機能を有し、さらに、この提案の導波路型光カブラは、テーパ導波路40を設けることにより、マルチモード光干渉導波路2に入力する光のスポットサイズを拡大することができるので、導波路型光カブラの損失を小さくすることができる。

【0010】図22に示す導波路型光カブラは、同図に示す導波路構成の回路が描かれたフォトマスクを用い、

図19に示した導波路型光カブラとはほぼ同様にして作製される。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上記のような導波路型光カブラにおいて、マルチモード光干渉導波路2に入射する光信号の入射モードが0次モードのみの場合は、この0次モードと、マルチモード光干渉導波路2により励起される高次モード（1次以上のモード）とが干渉し、結合する。この場合には、入射モードである0次モードと前記励起モードである高次モードとの結合効率にばらつきは生じない。

【0012】しかしながら、上記従来の導波路型光カブラにおいては、いずれも、光信号の入射条件によって、入射成分の主成分である0次モードと共に、この0次モード以外の高次モード（1次以上のモード）とがマルチモード光干渉導波路2に入射する。

【0013】そうすると、マルチモード光干渉導波路2内において、上記入射成分の0次モードおよび高次モードと、この0次モードおよび高次モードの励起モードであるそれぞれの高次モードとが干渉する。したがって、マルチモード光干渉導波路2により励起される高次モード（1次モード以上のモード）と入射モードとの結合効率にばらつきが生じてしまうといった問題があった。

【0014】例えば、図19に示した導波路型光カブラにおいては、光信号が光入力導波路1に入射するときに、図21の（a）に示すように、光信号のビーム強度中心が光入力導波路1aの幅方向中心からずれて入射すると、この軸ずれ成分が光入力導波路1aにおいて高次（1次以上）の伝播モードを引き起こし、主要な信号成分である0次モードの光信号に干渉し、入射光信号の形を歪め、その状態で光入力導波路1aからマルチモード光干渉導波路2に入射する。

【0015】そのため、図19に示した導波路型光カブラにおいて、マルチモード光干渉導波路2に入射する光のビームプロファイルが図21の（b）の特性線aに示すようになり、光のビーム強度のピーク位置が光入力導波路1aの幅方向中心位置からずれてしまった状態で光が光入力導波路1aから出射される。そうすると、マルチモード光干渉導波路2に入射する光のビーム強度ピーク位置が設定位置（光入力導波路1aの幅方向中心）からずれてしまい、上記結合効率のばらつきが生じてしまうのである。

【0016】なお、図21の（a）は、上記軸ずれ成分（軸ずれ入射光）の入射位置を模式的に示し、同図の（b）は、この軸ずれ成分がマルチモード光干渉導波路2に入射する際のビームプロファイル形状を模式的に示した図である。軸ずれが無い場合のビームプロファイル形状を同図の（b）の特性線bに示す。また、同図の（a）に示すように、以下、導波路構成の外側方向への軸ずれを+で示し、導波路構成の内側方向への軸ずれを

10

20

30

40

50

ーで示す。

【0017】また、図20は、図19に示した導波路型光カブラの光入力導波路1aに入射する光信号の入射位置をX方向に変えて、光がマルチモード光干渉導波路2に入射する際のビームプロファイル形状を測定した結果を示している。横軸はX方向の長さを示し、縦軸は光の振幅を示す。また、横軸はマルチモード光干渉導波路2の幅方向(X方向)中心を0として示しており、光入力導波路1aの出射端中心は10 μ mの位置である。

【0018】図20の特性線aは軸ずれが無い光を入射した場合のビームプロファイル形状を示す。また、同図の特性線bは、X方向(光信号の進行方向に垂直で、かつ、導波路面に平行な方向)の軸ずれが-2 μ mの光信号を入射した場合のビームプロファイル形状を示し、特性線cはX方向の軸ずれが+2 μ mの光信号を入射した場合のビームプロファイル形状を示す。

【0019】図20の特性線a~cから明らかなように、軸ずれの無い光が光入力導波路1aに入射された場合には、その光が光入力導波路1aを伝播していき、マルチモード光干渉導波路2に入射するときの振幅ピークが光入力導波路1aの出射端幅方向中心となる。

【0020】しかし、軸ずれを有する光が光入力導波路1aに入射された場合には、その光が光入力導波路1aを伝播していき、マルチモード光干渉導波路2に入射するときの振幅ピークは、光入力導波路1aの出射端幅方向中心からずれ、設計通りの特性を実現できないだけでなく、上記振幅ピークの中心ずれ量に対応して結合効率のばらつきが発生してしまう。

【0021】なお、上記のような現象は、図22に示した導波路型光カブラにおいても同様であり、図22に示した導波路型光カブラのマルチモード光干渉導波路2への入射ビームプロファイル形状は、図23の特性線a~cに示すようになる。

【0022】同図の特性線aは軸ずれが無い光を入射した場合のビームプロファイル形状を示す。また、同図の特性線bは、X方向(光信号の進行方向に垂直で、かつ、導波路面に平行な方向)の軸ずれが+2 μ mの光信号を入射した場合のビームプロファイル形状を示し、特性線cはX方向の軸ずれが-2 μ mの光信号を入射した場合のビームプロファイル形状を示す。軸ずれがない光を入射した場合に比較すると、軸ずれありの光を入射した場合のビームプロファイルは、中心波長からのピークずれがあるだけでなく、そのピークパワーも小さくなっている。

【0023】そして、上記のような結合効率のばらつきは、例えば上記図19、図22に示したような導波路型光カブラを複数接続して光合分波器を形成した場合に、光合分波器の光合分波性能の劣化を招いてしまう。

【0024】本発明は上記従来の課題を解決するために成されたものであり、その目的は、光信号の光入力導波

路への入射位置が多少ずれても、マルチモード光干渉導波路による結合効率を設定通りの安定した値とすることができる導波路型光カブラおよびこれを複数接続して成る光合分波器を提供することにある。

【0025】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は次のような構成をもって課題を解決するための手段としている。すなわち、第1の発明の導波路型光カブラは、1本以上の並設された光入力導波路と、該光入力導波路の出射側に設けられたマルチモード光干渉導波路と、該マルチモード光干渉導波路の出射側に1本以上の並設された光出力導波路とを有し、前記マルチモード光干渉導波路は前記光入力導波路および前記光出力導波路よりも幅広と成しており、1本以上の光入力導波路とマルチモード光干渉導波路の間と、1本以上の光出力導波路とマルチモード光干渉導波路の間の少なくとも一方には、対応する光入力導波路または光出力導波路の幅よりも狭幅の狭幅直線導波路が介設されている構成をもって課題を解決する手段としている。

【0026】また、第2の発明の導波路型光カブラは、上記第1の発明の構成に加え、前記マルチモード光干渉導波路に接続されている導波路とマルチモード光干渉導波路との接続部にはマルチモード光干渉導波路に inputsする光のスポットサイズを拡大するインターフェース導波路部が形成されている構成をもって課題を解決する手段としている。

【0027】さらに、第3の発明の導波路型光カブラは、上記第2の発明の構成に加え、前記インターフェース導波路部は該インターフェース導波路部の一端側に接続されている導波路よりも広幅で、かつ、前記インターフェース導波路部の他端側に接続されているマルチモード光干渉導波路側に向かうにつれて拡幅する台形状導波路とした構成をもって課題を解決する手段としている。

【0028】さらに、第4の発明の導波路型光カブラは、上記第2の発明の構成に加え、前記インターフェース導波路部はマルチモード光干渉導波路側に向かうにつれて拡幅するテーパ形状の導波路とした構成をもって課題を解決する手段としている。

【0029】さらに、第5の発明の導波路型光カブラは、上記第2の発明の構成に加え、前記インターフェース導波路部は該インターフェース導波路部の一端側に接続されている導波路より広幅で、かつ、前記インターフェース導波路部の他端側に接続されているマルチモード光干渉導波路より狭幅の直線状の導波路とした構成をもって課題を解決する手段としている。

【0030】さらに、第6の発明の導波路型光カブラは、上記第1乃至第5のいずれか一つの発明の構成に加え、前記光入力導波路と光出力導波路と狭幅直線導波路は、それぞれシングルモード条件を満たしている構成をもって課題を解決する手段としている。

【0031】さらに、第7の発明の導波路型光カブラは、上記第1乃至第6のいずれか一つの発明の構成に加え、前記光入力導波路は1本の第1の光入力導波路と1本の第2の光入力導波路を並設して成り、光出力導波路は1本の第1の光出力導波路と1本の第2の光出力導波路を並設して成る構成をもって課題を解決する手段としている。

【0032】さらに、第8の発明の導波路型光カブラは、上記第7の発明の導波路型光カブラを2つ直列に配列し、一方の導波路型光カブラを第1の導波路型光カブラとし、他方の導波路型光カブラを第2の導波路型光カブラとし、前記第1の導波路型光カブラの第1の光出力導波路の出射側に前記第2の導波路型光カブラの第1の光入力導波路を接続して第1の連結導波路とし、前記第1の導波路型光カブラの第2の光出力導波路の出射側に前記第2の導波路型光カブラの第2の光入力導波路を接続して第2の連結導波路とし、該第2の連結導波路と前記第1の連結導波路の光路長を互いに異なる構成として課題を解決する手段としている。

【0033】さらに、第9の発明の導波路型光カブラは、上記第7の発明の導波路型光カブラを2つ直列に配列し、一方の導波路型光カブラを第1の導波路型光カブラとし、他方の導波路型光カブラを第2の導波路型光カブラとし、前記第1の導波路型光カブラの第1の光出力導波路の出射側に前記第2の導波路型光カブラの第1の光入力導波路を接続して第1の連結導波路とし、前記第1の導波路型光カブラの第2の光出力導波路の出射側に前記第2の導波路型光カブラの第2の光入力導波路を接続して第2の連結導波路とし、前記第1の連結導波路と前記第2の連結導波路の少なくとも一方に連結導波路の屈折率を変化させる屈折率可変手段を設けた構成をもって課題を解決する手段としている。

【0034】さらに、第10の発明の光合分波器は、上記第1乃至第9のいずれか一つの発明の導波路型光カブラを複数配列して形成した構成をもって課題を解決する手段としている。

【0035】さらに、第11の発明の光合分波器は、上記第8又は第9の発明の導波路型光カブラを複数並設して第1段の導波路型光カブラユニットを形成し、該第1段の導波路型光カブラユニットの後段に、前記導波路型光カブラを1つ以上並設してなる第2段の導波路型光カブラユニットを設け、前記第1段の導波路型光カブラユニットの1対ずつの導波路型光カブラの出力を前記第2段の導波路型光カブラユニットの導波路型光カブラにより合波または分波するという如く、前記導波路型光カブラを複数段に接続して前段の対の導波路型光カブラの光出力を後段の導波路型光カブラで合波または分波する機能を有する構成とした構成をもって課題を解決する手段としている。

【0036】上記構成の本発明の導波路型光カブラは、

マルチモード光干渉導波路の入射側に設けた1本以上の光入力導波路とマルチモード光干渉導波路の間と、マルチモード光干渉導波路の出射側に設けた1本以上の光出力導波路とマルチモード光干渉導波路の間の少なくとも一方に狭幅直線導波路を介設し、該狭幅直線導波路を対応する光入力導波路または光出力導波路の幅よりも狭幅と成したものである。

【0037】例えば本発明の導波路型光カブラにおいて、光入力導波路の出射側に狭幅直線導波路を設けると、前記狭幅直線導波路によって、光入力導波路を伝播してきた光の余分な高次モード成分を除去してビームプロファイルの歪みを取り除き、光強度中心を狭幅直線導波路の幅方向中心に移動させて狭幅直線導波路から出射することができる。

【0038】すなわち、本発明の導波路型光カブラにおいて、光入力導波路の出射側に狭幅直線導波路を設け、この狭幅直線導波路の幅方向中心位置をマルチモード光干渉導波路の設定位置に形成することにより、光のパワー中心をマルチモード光干渉導波路の前記設定位置に合わせて入射させることができ、かつ、その光のビームプロファイルはほとんど歪みの無いものとすることができる。

【0039】したがって、本発明の導波路型光カブラは、光信号の光入力導波路への入射位置が多少ずれても、マルチモード光干渉導波路による結合効率を設定通りの安定した値とすることができる。

【0040】また、本発明の導波路型光カブラは相反性を有する光回路であるため、上記狭幅直線導波路を光出力導波路の入射側に設け、光出力導波路側から光を入射する場合も同様の効果を奏することができる。

【0041】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面に基いて説明する。なお、本実施形態例の説明において、従来例と同一名称部分には同一符号を付し、その重複説明は省略する。図1には、本発明に係る導波路型光カブラの第1実施形態例が示されている。

【0042】同図に示すように、本第1実施形態例の導波路型光カブラは図19に示した従来の導波路型光カブラとはほぼ同様に構成されており、本第1実施形態例が従来例と異なる特徴的なことは、1本以上（ここでは2本）の光入力導波路1a、1bとマルチモード光干渉導波路2の間と、1本以上（ここでは2本）の光出力導波路3a、3bとマルチモード光干渉導波路2の間に、狭幅直線導波路5が介設されていることである。これらの狭幅直線導波路5は対応する光入力導波路1a、1bまたは光出力導波路3a、3bの幅よりも狭幅と成している。

【0043】なお、本第1実施形態例において、図1に示す導波路構成を形成するコアの膜厚は6.5 μ m、比屈折率差 Δ は0.8%である。また、光入力導波路1

a, 1bおよび光出力導波路3a, 3bは、いずれも幅6.5 μm に形成されており、シングルモード条件を満たしている。マルチモード光干渉導波路2は幅60.0 μm 、長さ5560.0 μm である。また、光入力導波路1a, 1bおよび光出力導波路3a, 3bの曲線部は、それぞれ曲率半径5mmの円弧で構成している。

【0044】狭幅直線導波路5は幅3.5 μm 、長さ500 μm に形成されている。この狭幅直線導波路5の幅と長さは、光入力導波路1a, 1bを伝播してきた光の強度中心を狭幅直線導波路5の幅中心に導くことができるだけの幅と長さである。狭幅直線導波路5もシングルモード条件を満たしている。

【0045】また、本第1実施形態例の導波路型光カブラも従来例とほぼ同様の作製方法により作製されている。本第1実施形態例の導波路型光カブラの作製方法が従来例の導波路型光カブラの作製方法と異なることは、コア膜の焼結、透明化後に、図1に示したような導波路構成の回路が描かれたフォトマスクを介してフォトリソグラフィ、反応性イオンエッチング法にてコア膜にパターンを転写し、コアの導波路構成を形成することである。

【0046】本第1実施形態例において、コアを形成するコア膜はSiO₂-B₂O₃-P₂O₅-GeO₂系、アンダークラッド膜とオーバークラッド膜は、共にSiO₂-B₂O₃-P₂O₅系により形成されている。

【0047】なお、本発明者は、上記実施形態例の構成を決定するに際し、まず、光パワー中心（光強度中心）が光入力導波路1の導波路中心からずれてしまった状態を模擬的に実験するため、図3に示すように、入力導波路1と同様の構成を有する基本導波路11を形成し、この基本導波路11の出射側に、基本導波路11よりも狭幅の狭幅直線導波路5を形成した。

【0048】そして、基本導波路11の入射端に、導波路構成の外側（図の上側）に故意に+2 μm 軸ずれを有する光を入射させてビーム伝搬法（BPM）によるシミュレーションを行い、光ビーム中心が設定位置からどれだけずれるかを求めた。

【0049】なお、上記モードフィールドの計算に用いたパラメータの値は、基本導波路11に入射する信号光波長=1.55 μm 、比屈折率差 Δ =0.80%、基本導波路11の膜厚=6.5 μm 、基本導波路11の幅W=6.5 μm 、狭幅直線導波路5の長さ=500.0 μm 、30.0 μm 、20.0 μm 、10.0 μm 、狭幅直線導波路5の幅=3.5 μm 、4.0 μm 、4.5 μm 、5.0 μm 、5.5 μm とした。

【0050】また、狭幅直線導波路5を設けない構成においても同様に上記シミュレーションを行なった。

【0051】その結果、狭幅直線導波路5の幅が大きくなると、次第に光ビーム中心（光ビームの強度中心）が

設定位置から離れてしまい、また、狭幅直線導波路5の長さが短くなると、同様に、次第に光ビーム中心が設定位置から離れてしまうことがわかった。そして、その逆に、狭幅直線導波路5の幅を十分に狭く、かつ、その長さを十分に長くすると、光強度中心を狭幅直線導波路5の幅方向中心に移動させて出射させることができることがわかった。

【0052】例えば、図4に示すように、狭幅直線導波路5の長さを500 μm とした場合、その幅を約4.0 μm 以下にすることにより、光強度中心のずれ量を約0.1 μm 以下にすることができる。なお、同図において、狭幅直線導波路の幅6.5 μm は狭幅直線導波路5を設けない場合を示す。

【0053】また、図5に示すように、狭幅直線導波路5の幅を3.5 μm とした場合、その長さを30 μm 以上にすることにより、光強度中心のずれ量を約0.1 μm 以下にすることができる。なお、同図において、狭幅直線導波路5の長さ0は狭幅直線導波路5を設けない場合を示す。

【0054】本発明者は、上記検討結果に基づき、本第1実施形態例の導波路構成を前記の如く決定したものであり、例えば光入力導波路1aに信号光を入射すると、その光は光入力導波路1aを伝播してその出射側の狭幅直線導波路5を伝播する。狭幅直線導波路5は、光入力導波路を伝播してきた光の余分な高次モード成分を除去し、ビームプロファイルの歪みを取り除き、光強度中心（振幅中心）を狭幅直線導波路の幅方向中心に移動させて出射する。

【0055】したがって、図2の特性線a~cに示すように、たとえ軸ずれを有する光が光入力導波路1aに入射されても、軸ずれの無い光が光入力導波路1aに入射された場合と同様に、マルチモード光干渉導波路2の設定位置（同図における10 μm の位置）に光強度中心を入射することができる。

【0056】なお、同図の特性線a~cは、本第1実施形態例の構成を持つ導波路型光カブラを実際に作製して、光入力導波路1aから光を入射した場合に測定された、マルチモード光干渉導波路2への入射ビームプロファイル形状を示すものである。特性線aは軸ずれが無い光を入射した場合のビームプロファイル形状を示し、特性線b, cはそれぞれ、前記X方向の軸ずれが-2 μm 、+2 μm の光信号を入射した場合のビームプロファイル形状を示す。

【0057】以上のように、本第1実施形態例の導波路型光カブラは、たとえ軸ずれを有する光が光入力導波路1aに入射されても、マルチモード光干渉導波路2の設定位置に光のパワー中心を入射することができるので、光信号の光入力導波路1への入射位置が多少ずれても、マルチモード光干渉導波路2による結合効率を設定通りの安定した値とすることができる。

【0058】また、本第1実施形態例の導波路型光カブラは相反性を有する光回路であるため、光出力導波路3側から光を入射した場合も同様の効果を奏することができる。

【0059】図6の(a)には、本発明に係る導波路型光カブラの第2実施形態例の要部構成図が平面図により示されている。本第2実施形態例の導波路型光カブラは、上記第1実施形態例とほぼ同様に構成されており、本第2実施形態例が上記第1実施形態例と異なる特徴的なことは、マルチモード光干渉導波路2に接続されている導波路(ここでは狭幅直線導波路5)と、マルチモード光干渉導波路2との接続部に、マルチモード光干渉導波路2に

入力する光のスポットサイズを拡大するインターフェース導波路部4を形成したことである。

【0060】インターフェース導波路部4は、該インターフェース導波路部4に接続されている導波路である狭幅直線導波路5の幅よりも広幅で、かつ、マルチモード光干渉導波路2側に向かうにつれて拡幅する台形状導波路であり、図22に示した導波路型光カブラに設けたテーバ導波路40と同様の寸法に形成されている。

【0061】すなわち、本実施形態例において、図6の(b)に示すように、台形状を呈するインターフェース導波路部4の狭幅端の幅Aは6.5 μm 、拡幅端の幅Bは10.0 μm 、長さCは250.7 μm であり、図6の(a)、(b)においては、インターフェース導波路部4を模式的に示している。

【0062】本第2実施形態例は以上のように構成されており、上記第1実施形態例と同様の効果を奏することができる。

【0063】すなわち、本第2実施形態例においても、図7の(a)の特性線a~cに示すように、たとえ軸ずれを有する光が光入力導波路1aに入射されても、軸ずれの無い光が光入力導波路1aに入射された場合と同様に、マルチモード光干渉導波路2の設定位置(同図における10 μm の位置)に光強度中心を入射することができる。したがって、光信号の光入力導波路1への入射位置が多少ずれても、マルチモード光干渉導波路2による結合効率を設定通りの安定した値とすることができる。

【0064】なお、図7の(a)の特性線a~cは、本第2実施形態例の構成を持つ導波路型光カブラを実際に作製して、光入力導波路1aから光を入射した場合に測定された、マルチモード光干渉導波路2への入射ビームのプロファイル形状を示すものである。特性線aは軸ずれが無い光を入射した場合のビームプロファイル形状を示し、特性線b、cはそれぞれ、前記X方向の軸ずれが-2 μm 、+2 μm の光信号を入射した場合のビームプロファイル形状を示す。

【0065】また、図7の(b)の特性線aには、本第2実施形態例の構成を持つ導波路型光カブラに前記X方向の軸ずれが+2 μm の光信号を入射した場合のビーム

プロファイル形状を示し、図7の(b)の特性線bには、図22に示した構成を持つ導波路型光カブラに前記X方向の軸ずれが+2 μm の光信号を入射した場合のビームプロファイル形状を示す。

【0066】図7の(b)の特性線aと特性線bを比較すると、本第2実施形態例の導波路型光カブラは、図22に示した構成の導波路型光カブラと異なり、狭幅直線導波路5を設けることによりマルチモード光干渉導波路2の設定位置(図7における10 μm の位置)に光強度中心を入射することができることが明確に分かる。

【0067】また、本第2実施形態例の導波路型光カブラは相反性を有する光回路であるため、光出力導波路3側から光を入射した場合も同様の効果を奏することができる。

【0068】さらに、本第2実施形態例では、狭幅直線導波路5とマルチモード光干渉導波路2との接続部に、マルチモード光干渉導波路2に入力する光のスポットサイズを拡大するインターフェース導波路部4を形成しているので、光入力導波路1aからより多くの光をマルチモード光干渉導波路2に入射することができ、過剰損失を抑制することができる。

【0069】さらに、インターフェース導波路部4は、放射角を小さくする作用もあり、放射角を小さくし、マルチモード光干渉導波路2の幅変化に伴う出射フィールドの広がりに対するトレランスを向上させることができるので、本第2実施形態例においては、マルチモード光干渉導波路2の幅方向(図6の(a)のX方向)の長さが多少変化しても、その影響を受けにくく、過剰損失をより一層確実に抑制できる。

【0070】図8には、本発明に係る導波路型光カブラの第3実施形態例の要部構成図が平面図により示されている。本第3実施形態例の導波路型光カブラは、上記第2実施形態例とほぼ同様に構成されており、本第3実施形態例が上記第2実施形態例と異なる特徴的なことは、インターフェース導波路部4を、マルチモード光干渉導波路2側に向かうにつれて拡幅するテーバ形状の導波路としたことである。

【0071】本第3実施形態例は以上のように構成されており、本第3実施形態例も上記第2実施形態例と同様の効果を奏することができる。

【0072】なお、図9の特性線a、bは、本第3実施形態例の構成を持つ導波路型光カブラを実際に作製して、光入力導波路1aから光を入射した場合のプロファイル形状を示すものであり、特性線aは軸ずれが無い光を入射した場合に測定された、マルチモード光干渉導波路2への入射ビームのビームプロファイル形状を示し、特性線bはX方向の軸ずれが+2 μm の光信号を入射した場合のビームプロファイル形状を示す。

【0073】同図の特性線a、bに示すように、本第3実施形態例によれば、たとえ軸ずれを有する光が光入力

導波路1aに入射されても、軸ずれの無い光が光入力導波路1aに入射された場合と同様に、マルチモード光干渉導波路2の設定位置（同図における $10\mu\text{m}$ の位置）に光強度中心を入射することができる。

【0074】また、図10の(a)には、光入力導波路1aから入射する入射光のX方向の軸ずれ量と、この軸ずれに伴うマルチモード光干渉導波路2による結合効率の設定値（ここでは50%）からのずれ量の関係が示されている。特性線aは本第3実施形態例の構成において上記関係を求めたものであり、特性線bは、図8に示した導波路構成において、狭幅直線導波路5を省略した場合について上記関係を求めたものである。

【0075】なお、同図の特性線aは、本第3実施形態例の構成を持つ導波路型光カブラを実際に作製し、光を光入力導波路1aに入射して光出力導波路3a、3bから観測された光のパワーから結合効率の値を求めた。また、同図の特性線bは、図8の構成において狭幅直線導波路5を省略して構成した導波路型光カブラを実際に作製し、光を光入力導波路1aに入射して光出力導波路3a、3bから観測された光のパワーから結合効率の値を求めた。

【0076】これらの特性線a、bに示すように、本第3実施形態例においては、光入力導波路1aから入射する入射光のX方向の軸ずれ量が $\pm 2\mu\text{m}$ の範囲において、この軸ずれに伴うマルチモード光干渉導波路2による結合効率の設定値からのずれ量を1.5%以内に抑えることができ、狭幅直線導波路5を設けない場合（同図の特性線b）に比べ、入射光の軸ずれに伴うマルチモード光干渉導波路2の結合効率のずれを大幅に改善することができる。

【0077】また、図10の(b)の特性線aは、本第3実施形態例の構成を持つ導波路型光カブラに前記X方向の軸ずれが $+2\mu\text{m}$ の光信号を入射した場合に測定された、マルチモード光干渉導波路2への入射ビームのビームプロファイル形状を示す。図10の(b)の特性線bは、図8における狭幅直線導波路5を省略して構成した導波路型光カブラに前記X方向の軸ずれが $+2\mu\text{m}$ の光信号を入射した場合に測定された、マルチモード光干渉導波路2への入射ビームのビームプロファイル形状を示す。

【0078】図10(b)の特性線aと特性線bを比較すると、本第3実施形態例の導波路型光カブラは、狭幅直線導波路5を設けることにより、マルチモード光干渉導波路2の設定位置（図10の(b)における $10\mu\text{m}$ の位置）に光強度中心を入射することができることが明確に分かる。

【0079】図11には、本発明に係る導波路型光カブラの第4実施形態例の要部構成図が平面図により示されている。本第4実施形態例の導波路型光カブラは、上記第2、第3実施形態例とはほぼ同様に構成されており、本

第4実施形態例が上記第2、第3実施形態例と異なる特徴的なことは、インターフェース導波路部4を、インターフェース導波路部4の一端側に接続されている導波路（ここでは狭幅直線導波路5）より広幅で、かつ、前記インターフェース導波路部4の他端側に接続されているマルチモード光干渉導波路2より狭幅の直線状の導波路としたことである。

【0080】本第4実施形態例は以上のように構成されており、本第4実施形態例も上記第2、第3実施形態例と同様の効果を奏することができる。

【0081】なお、図12の特性線a～cは、本第4実施形態例の構成を持つ導波路型光カブラを実際に作製して、光入力導波路1aから光を入射した場合に測定された、マルチモード光干渉導波路2への入射ビームのプロファイル形状を示すものである。特性線aは軸ずれが無い光を入射した場合のビームプロファイル形状を示し、特性線b、cはそれぞれ、X方向の軸ずれが $+2\mu\text{m}$ 、 $-2\mu\text{m}$ の光信号を入射した場合のビームプロファイル形状を示す。

【0082】図13には、本発明に係る導波路型光カブラの第5実施形態例の要部構成図が平面図により示されている。本第5実施形態例の導波路型光カブラは、上記第1実施形態例の導波路型光カブラを2つ直列に配列して形成したマッハツェンダ干渉計型の導波路型光カブラである。

【0083】以下、本第5実施形態例の導波路型光カブラについて詳細に説明する。本第5実施形態例の導波路型光カブラは、2つ直列に配列した導波路型光カブラ7a、7bのうち、一方の導波路型光カブラを第1の導波路型光カブラ7aとして他方の導波路型光カブラを第2の導波路型光カブラ7bとしている。

【0084】そして、第1の導波路型光カブラ7aの第1の光出力導波路3aの出射側に第2の導波路型光カブラ7bの第1の光入力導波路1aを接続して第1の連結導波路8aとし、第1の導波路型光カブラ7aの第2の光出力導波路3bの出射側に第2の導波路型光カブラ7bの第2の光入力導波路1bを接続して第2の連結導波路8bとし、該第2の連結導波路8bと前記第1の連結導波路8aの光路長を互いに異なるようにしている。

【0085】本第5実施形態例は以上のように構成されており、本第5実施形態例では、2つの導波路型光カブラ7a、7bのそれぞれのマルチモード光干渉導波路2に挟まれた第2の連結導波路8bと前記第1の連結導波路8aの光路長を互いに異なる構成にしているので、周知のマッハツェンダ干渉型光学素子と同様に、連結導波路部8a、8bを伝播する光に位相差をつけ、光の干渉作用を生じさせ、異なる波長の光信号を合分波することができる。なお、この合分波する光の波長間隔は、連結導波路部8aと連結導波路部8bの光路長の差によって決定される。

【0086】本第5実施形態例の導波路型光カブラは、上記第1実施形態例の導波路型光カブラを直列に配列して上記の如く接続して形成したものであるから、各マルチモード光干渉導波路2による結合効率を設計通りの値にすることができ、設計通りの光合分波機能を果たすことができる優れたマッハツェンダ干渉計型の導波路型光カブラとすることができる。

【0087】図14には、本発明に係る導波路型光カブラの第6実施形態例の要部構成図が平面図により示されている。本第6実施形態例の導波路型光カブラは、上記第5実施形態例の導波路型光カブラとほぼ同様に構成されており、本第6実施形態例が上記第5実施形態例と異なる特徴的なことは、狭幅直線導波路5と、マルチモード光干渉導波路2との接続部にインターフェース導波路部4を設けたことである。

【0088】本第6実施形態例において、インターフェース導波路部4は上記第3実施形態例に設けたインターフェース導波路部4と同様に、マルチモード光干渉導波路2側に向かうにつれて拡幅するテーパ形状の導波路である。すなわち、本第6実施形態例の導波路型光カブラは、上記第3実施形態例の導波路型光カブラを2つ直列に配列して形成したマッハツェンダ干渉計型の導波路型光カブラである。

【0089】本第6実施形態例は以上のように構成されており、上記第5実施形態例と同様の効果を奏することができる。また、本第6実施形態例は、狭幅直線導波路5とマルチモード光干渉導波路2との接続部にインターフェース導波路部4を設けることにより、第5実施形態例よりもさらに損失の小さい導波路型光カブラとすることができる。

【0090】なお、本第6実施形態例の導波路型光カブラは、上記第3実施形態例の導波路型光カブラを直列に接続して形成したが、上記第2～第4実施形態例の導波路型光カブラを適宜組み合わせて直列に接続して形成してもよい。すなわち、図14において、インターフェース導波路部4の形状を、例えば図6に示したような台形状としてもよいし、例えば図11に示したような直線状としてもよい。このようにした場合も、上記第6実施形態例と同様の効果を奏することができる。

【0091】図15には、本発明に係る導波路型光カブラの第7実施形態例の要部構成図が平面図により示されている。本第7実施形態例の導波路型光カブラは、上記第6実施形態例の導波路型光カブラとほぼ同様に構成されており、第1の導波路型光カブラ7aの第2の光出力導波路3bの出射側に第2の導波路型光カブラ7bの第2の光入力導波路1bを接続して第2の連結導波路8bとしているが、本第7実施形態例においては、第2の連結導波路8bと前記第1の連結導波路8aの光路長を互いにほぼ等しい長さにしている。

【0092】そして、本第7実施形態例では、第1の連

結導波路8aと第2の連結導波路8bの少なくとも一方（ここでは両方）に、連結導波路の屈折率を変化させる屈折率可変手段30（30a、30b）を設けている。この屈折率可変手段30は、本実施形態例では、金属薄膜を蒸着することで形成した温度制御器により形成しており、熱光学（TO）効果により、第1と第2の連結導波路8a、8bの屈折率を変化させることができるようになっている。

【0093】本第7実施形態例においては、屈折率可変手段30a、30bの少なくとも一方を駆動して第1と第2の連結導波路8a、8bの一方または両方の屈折率を変化させることにより、第1と第2の連結導波路8a、8bの間に適宜、光路長差を発生させたり、光路長差を無くしたりすることができる。

【0094】本第7実施形態例において、第1と第2の連結導波路8a、8bの屈折率が生じないとき（スイッチオフの時）には、第1の導波路型光カブラ7aの第1の光入力導波路1aに入射された光は周知のマッハツェンダ干渉計型素子と同様に、第2の導波路型光カブラ7bの第2の光出力導波路3bからのみ出力される。

【0095】一方、第1の連結導波路8aと第2の連結導波路8bとの間に π の位相差、すなわち、入力光波長の2分の1の光路長差を発生させるように、第1の連結導波路8aと第2の連結導波路8bの少なくとも一方に取り付けられた屈折率可変手段30によって、第1と第2の連結導波路8a、8bの屈折率を生じさせたとき（スイッチオンの時）には、第1の導波路型光カブラ7aの第1の光入力導波路1aに入射された光は、第2の導波路型光カブラ7bの第1の光出力導波路3aからのみ出力される。

【0096】同様に、第1の導波路型光カブラ7aの第2の光入力導波路1bに入射された光は第1と第2の連結導波路8a、8bの屈折率が生じないとき（スイッチオフの時）には、第2の導波路型光カブラ7bの第1の光出力導波路3aからのみ出力され、第1と第2の連結導波路8a、8bの屈折率が生じているとき（スイッチオンの時）には、第2の導波路型光カブラ7bの第2の光出力導波路3bからのみ出力される。

【0097】このように、本第7実施形態例の導波路型光カブラは、屈折率可変手段30の動作を可変することにより、光スイッチとしての機能を果たすことができる。そして、本第7実施形態例は、上記第3実施形態例の導波路型光カブラを直列に配列して上記の如く接続して形成したものであるから、各マルチモード光干渉導波路2による結合効率を設計通りの値にすることができ、設計通りの光スイッチ機能を果たすことができる優れたマッハツェンダ干渉計型の導波路型光カブラとすることができる。

【0098】図16には、本発明に係る光合分波器の第1実施形態例が示されている。本実施形態例の光合分波

器は、上記第5実施形態例の導波路型光カブラと同様に構成された導波路型光カブラ7A、7B、7Cを設けて形成されている。

【0099】本第1実施形態例の光合分波器は、導波路型光カブラ7A、7Bを複数（ここでは2つ）並設して第1段の導波路型光カブラユニット9Aを形成し、該第1段の導波路型光カブラユニット9Aの後段に、前記導波路型光カブラ7Cを1つ以上（ここでは1つ）並設してなる第2段の導波路型光カブラユニット9Bを設けている。

【0100】そして、本第1実施形態例の光合分波器は、前記第1段の導波路型光カブラユニット9Aの1対（ここでは、導波路型光カブラ7Aの出力と導波路型光カブラ7B）ずつの光出力を第2段の導波路型光カブラユニット9Bの導波路型光カブラ7Cにより合波するという如く、導波路型光カブラ7A、7B、7Cを複数段（ここでは2段）に接続して前段の対の導波路型光カブラの光出力を後段の導波路型光カブラで合波する構成とした。

【0101】本第1実施形態例の光合分波器は、以上のように構成されており、例えば図16に示すように、導波路型光カブラ7Aの第1の光入力導波路1aから波長 λ_1 の光を入射し、導波路型光カブラ7Aの第2の光入力導波路1bから波長 λ_2 の光を入射すると、波長 λ_1 の光と波長 λ_2 の光が導波路型光カブラ7Aで合波されてその第2の光出力導波路3bから出射される。

【0102】また、導波路型光カブラ7Bの第1の光入力導波路1aから波長 λ_3 の光を入射し、導波路型光カブラ7Bの第2の光入力導波路1bから波長 λ_4 の光を入射すると、波長 λ_3 の光と波長 λ_4 の光が導波路型光カブラ7Bで合波されてその第1の光出力導波路3aから出射される。

【0103】そして、前記導波路型光カブラ7Aの第2の光出力導波路3bから出射された波長 λ_1 の光と波長 λ_2 の光は、導波路型光カブラ7Cの第1の光入力導波路1aから導波路型光カブラ7Cに入射し、前記導波路型光カブラ7Bの第1の光出力導波路3aから出射された波長 λ_3 の光と波長 λ_4 の光は、導波路型光カブラ7Cの第2の光入力導波路1bから導波路型光カブラ7Cに入射し、導波路型光カブラ7Cによって合波されて、導波路型光カブラ7Cの第2の光出力導波路3bから出射される。

【0104】また、本実施形態例の光合分波器は、相反性を有する回路であり、図16とは逆に、導波路型光カブラ7Cの第2の出力導波路3bから波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 の光を入射すると、これらの光は導波路型光カブラ7Cにより分波され、波長 λ_1 と λ_2 の光は導波路型光カブラ7Cの第1の光入力導波路1aから出射され、導波路型光カブラ7Aの第2の光出力導波路3bに入射する。また、波長 λ_3 と λ_4 の光は導波路型光

カブラ7Cの第2の光入力導波路1bから出射され、導波路型光カブラ7Bの第1の光出力導波路3aに入射する。

【0105】そして、波長 λ_1 の光と波長 λ_2 の光は導波路型光カブラ7Aで分波されてそれぞれ、導波路型光カブラ7Aの第1、第2の光入力導波路1a、1bから出射される。また、波長 λ_3 の光と波長 λ_4 の光は導波路型光カブラ7Bで分波されてそれぞれ、導波路型光カブラ7Bの第1、第2の光入力導波路1a、1bから出射される。

【0106】本第1実施形態例の光合分波器は、上記第1実施形態例と同様の導波路型光カブラ7A、7B、7Cを複数段接続して形成したものであるから、各導波路型光カブラ7A、7B、7Cの各マルチモード光干渉導波路2による結合効率を設計通りの値にすることができ、設計通りの光合分波機能を果たすることができる優れた光合分波器とすることができる。

【0107】図17には、本発明に係る光合分波器の第2実施形態例が示されている。本第2実施形態例の光合分波器は上記第1実施形態例の光合分波器とはほぼ同様に構成されており、本第2実施形態例の光合分波器が上記第1実施形態例の光合分波器と異なる特徴的なことは、マルチモード光干渉導波路2と直線狭幅導波路5との間にインターフェース導波路部4を設けたことである。

【0108】なお、同図では、インターフェース導波路部4はマルチモード光干渉導波路2側に向かうにつれて拡幅するテーパ形状の導波路としているが、インターフェース導波路部4の形状は特に限定されるものでなく適宜設定されるものであり、台形状としてもよいし、図11に示したような直線状としてもよい。

【0109】本第2実施形態例の光合分波器は、以上のように構成されており、本第2実施形態例の光合分波器も上記第1実施形態例の光合分波器と同様の効果を奏することができ、さらに、本第2実施形態例は、インターフェース導波路部4を設けることにより、より損失の小さい光合分波器とすることができる。

【0110】なお、本発明は上記各実施形態例に限定されることはなく、様々な実施の態様を採り得る。上記各実施形態例の導波路型光カブラは、光入力導波路1は1本の第1の光入力導波路1aと1本の第2の光入力導波路1bを並設し、光出力導波路3は1本の第1の光出力導波路3aと1本の第2の光出力導波路3bを並設したが、光入力導波路1や光出力導波路3の本数は特に限定されるものでなく適宜設定されるものであり、光入力導波路1、光出力導波路3は、それぞれ、1本以上の適宜の数並設されるものである。

【0111】例えば図18には、1本の光入力導波路1を設け、3本の光出力導波路3（3a、3b、3c）を並設して形成した導波路型光カブラの構成例が示されている。同図において、光入力導波路1およびそれぞれの

光出力導波路 3 (3 a, 3 b, 3 c) と、マルチモード光干渉導波路 2 との間には上記各実施形態例の導波路型光カブラと同様の狭幅直線導波路 5 が介設され、また、狭幅直線導波路 5 とマルチモード光干渉導波路 2 との間には、テーパ状の導波路から成るインターフェース導波路部 4 が設けられている。

【0112】同図に示す導波路型光カブラは、例えば光入力導波路 1 a から入射した光を、第 1、第 2、第 3 の光出力導波路 3 a, 3 b, 3 c のそれぞれから、設定した設定光強度で分岐できる光スプリッタとしての機能を果たすことができるものであり、狭幅直線導波路 5 とインターフェース導波路部 4 を形成することにより、設計通りの光スプリッティング機能を果たせる、低損失の優れた導波路型光カブラを実現できる。

【0113】なお、図 18 において、インターフェース導波路部 4 をテーパ状の導波路とする代わりに、台形状導波路としてもよいし、図 11 に示したような直線状の導波路としてもよい。また、インターフェース導波路部 4 を省略した場合も、設計通りの光スプリッティング機能を果たすことができる。

【0114】さらに、上記各実施形態例では、導波路型光カブラを形成する 2 本の光入力導波路 1 a, 1 b とマルチモード光干渉導波路 2 の間と、2 本の光出力導波路 3 a, 3 b とマルチモード光干渉導波路 2 の間の両方に、対応する光入力導波路 1 a, 1 b または光出力導波路 3 a, 3 b の幅よりも狭幅の狭幅直線導波路 5 を介設したが、本発明の導波路型光カブラは、1 本以上の光入力導波路 1 とマルチモード光干渉導波路 2 の間と、1 本以上の光出力導波路 3 とマルチモード光干渉導波路 2 の間の少なくとも一方に上記狭幅直線導波路 5 を介設すればよい。

【0115】さらに、上記実施形態例の光合分波器は、図 13、図 14 に示した第 6、第 7 実施形態例と同様のマッハツェンダ干渉計型の導波路型光カブラを複数段接続したモジュールとしたが、本発明の光合分波器は必ずしもマッハツェンダ干渉計型の導波路型光カブラを複数段接続して形成するとは限らず、第 1～第 5 実施形態例の導波路型光カブラを複数並設したり直列に接続したりして形成してもよい。

【0116】さらに、本発明において、導波路型光カブラのマルチモード光干渉導波路による結合効率は上記各実施形態例のように 50% とするとは限らず、適宜設定されるものである。

【0117】さらに、上記実施形態例では、導波路型光カブラを石英系光導波路により形成したが、本発明の導波路型光カブラは必ずしも石英系光導波路により形成するとは限らない。すなわち、本発明の導波路型光カブラは、InP 等の半導体導波路やポリイミド導波路等、適宜の光導波路構成材料により形成されるものであり、これらの光導波路構成材料により形成した場合も上記各実

施形態例と同様の効果を奏することができる。

【0118】さらに、本発明の導波路型光カブラおよび導波路型光カブラを用いた光合分波器の作製方法や寸法構造、ドープするドーパントの種類等は特に限定されるものでなく適宜設定されるものである。

【0119】

【発明の効果】本発明の導波路型光カブラによれば、例えば光入力導波路の出射側に狭幅直線導波路を設け、この狭幅直線導波路の幅方向中心位置をマルチモード光干渉導波路の設定位置に形成することにより、マルチモード光干渉導波路に入射する光のパワー中心を前記設定位置に合わせて入射させることができ、かつ、その光のビームプロファイルは歪みの無いものとすることができる。

【0120】したがって、本発明の導波路型光カブラは、光信号の光入力導波路への入射位置が多少ずれても、マルチモード光干渉導波路による結合効率を設定通りの安定した値とすることができる。

【0121】また、本発明の導波路型光カブラは相反性を有する光回路であるため、上記狭幅直線導波路を光出力導波路の入射側に設けて光出力導波路側から光を入射する場合も同様の効果を奏することができる。

【0122】さらに、本発明の導波路型光カブラにおいて、マルチモード光干渉導波路に接続されている導波路とマルチモード光干渉導波路との接続部にはマルチモード光干渉導波路に入力する光のスポットサイズを拡大するインターフェース導波路部が形成されている構成によれば、低損失で、かつ、マルチモード光干渉導波路の作製誤差の影響も受けにくい導波路型光カブラとすることができる。

【0123】また、本発明において、インターフェース導波路部は、インターフェース導波路部の一端側に接続されている導波路よりも広幅で、かつ、前記インターフェース導波路部の他端側に接続されているマルチモード光干渉導波路側に向かうにつれて拡幅する台形状導波路や、マルチモード光干渉導波路側に向かうにつれて拡幅するテーパ形状の導波路、インターフェース導波路部の一端側に接続されている導波路より広幅で、かつ、前記インターフェース導波路部の他端側に接続されているマルチモード光干渉導波路より狭幅の直線状の導波路等とすることにより、容易に導波路型光カブラを形成でき、かつ、的確に上記効果を奏することができる。

【0124】さらに、本発明において、光入力導波路と光出力導波路と狭幅直線導波路は、それぞれシングルモード条件を満たしている構成によれば、光の伝送を的確に行なうことができる。

【0125】さらに、光入力導波路は 1 本の第 1 の光入力導波路と 1 本の第 2 の光入力導波路を並設して成り、光出力導波路は 1 本の第 1 の光出力導波路と 1 本の第 2 の光出力導波路を並設して成る本発明の導波路型光カブ

ラによれば、例えば光入力導波路から入射された光を設定結合効率で分岐して2本の光出力導波路から出射したり、2本の光出力導波路から入射した光を設定結合効率で合波して1本の光入力導波路から出射したりする機能を正確に発揮できる導波路型光カブラとすることができる。

【0126】さらに、本発明において、光入力導波路と光出力導波路を2本ずつ並設した導波路型光カブラを2つ直列に配列して成る導波路型光カブラによれば、直列接続した導波路型光カブラのそれぞれのマルチモード光干渉導波路による結合効率を設計通りの値にすることができ、設計通りの光合分波機能を果たすことができる優れたマッハツェンダ干渉計型の導波路型光カブラとすることができる。

【0127】さらに、本発明において、光入力導波路と光出力導波路を2本ずつ並設した導波路型光カブラを2つ直列に配列して成り、かつ、直列接続した導波路型光カブラの第1の連結導波路と第2の連結導波路の少なくとも一方に連結導波路の屈折率を変化させる屈折率可変手段を設けた導波路型光カブラによれば、直列接続した導波路型光カブラのそれぞれのマルチモード光干渉導波路による結合効率を設計通りの値にすることができると共に、設計通りの光スイッチング機能を果たすことができる優れたマッハツェンダ干渉計型の導波路型光カブラとすることができる。

【0128】さらに、本発明の光合分波器によれば、上記本発明の導波路型光カブラを複数配列して形成したものであるから、それぞれのマルチモード光干渉導波路による結合効率を設計通りの値にすることができ、設計通りの光合分波機能や光合分岐機能を発揮できる光合分波器とすることができる。

【0129】さらに、本発明の光合分波器において、マッハツェンダ干渉計型の導波路型光カブラを複数段に接続して前段の対の導波路型光カブラの光出力を後段の導波路型光カブラで合波または分波する機能を有する構成の光合分波器によれば、設計通りに効率的に光合分波機能を果たすことができる優れた光合分波器とすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る導波路型光カブラの第1実施形態例を示す要部構成図である。

【図2】上記第1実施形態例の導波路型光カブラにおけるマルチモード光干渉導波路の入射端での光ビームプロファイル測定結果を示すグラフである。

【図3】上記第1実施形態例における狭幅直線導波路の作用をBPMシミュレーションにより検証するために用いた光回路パターンの説明図である。

【図4】図3の回路の狭幅直線導波路幅と、光入力導波路に軸ずれ光を入射したときの狭幅直線導波路からの出射光の設定値からのずれ量との関係を示すグラフであ

る。

【図5】図3の回路の狭幅直線導波路長と、光入力導波路に軸ずれ光を入射したときの狭幅直線導波路からの出射光の設定値からのずれ量との関係を示すグラフである。

【図6】本発明に係る導波路型光カブラの第2実施形態例を示す要部構成図(a)と、この実施形態例に設けられるインターフェース導波路部の説明図(b)である。

【図7】上記第2実施形態例の導波路型光カブラにおけるマルチモード光干渉導波路の入射端での光ビームプロファイル測定結果を示すグラフである。

【図8】本発明に係る導波路型光カブラの第3実施形態例を示す要部構成図である。

【図9】上記第3実施形態例の導波路型光カブラにおけるマルチモード光干渉導波路の入射端での光ビームプロファイル測定結果を示すグラフである。

【図10】上記第3実施形態例の導波路型光カブラにおける特性を狭幅直線導波路を設けない構成の導波路型光カブラの特性と比較して示すグラフである。

【図11】本発明に係る導波路型光カブラの第4実施形態例を示す要部構成図である。

【図12】上記第4実施形態例の導波路型光カブラにおけるマルチモード光干渉導波路の入射端での光ビームプロファイル測定結果を示すグラフである。

【図13】本発明に係る導波路型光カブラの第5実施形態例を示す要部構成図である。

【図14】本発明に係る導波路型光カブラの第6実施形態例を示す要部構成図である。

【図15】本発明に係る導波路型光カブラの第7実施形態例を示す要部構成図である。

【図16】本発明に係る光合分波器の第1実施形態例を示す要部構成図である。

【図17】本発明に係る光合分波器の第2実施形態例を示す要部構成図である。

【図18】本発明に係る導波路型光カブラの他の実施形態例を示す要部構成図である。

【図19】従来の導波路型光カブラの一例を示す説明図である。

【図20】従来の導波路型光カブラにおけるマルチモード光干渉導波路の入射端での光ビームプロファイル測定結果を示すグラフである。

【図21】従来の導波路型光カブラにおける入射光の軸ずれの有無によって異なるビームプロファイル形状を示す説明図である。

【図22】従来の導波路型光カブラの別の例を示す説明図である。

【図23】図22に示した導波路型光カブラにおけるマルチモード光干渉導波路の入射端での光ビームプロファイル測定結果を示すグラフである。

【符号の説明】

10

20

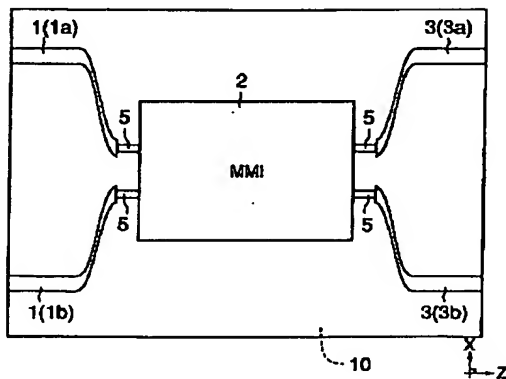
30

40

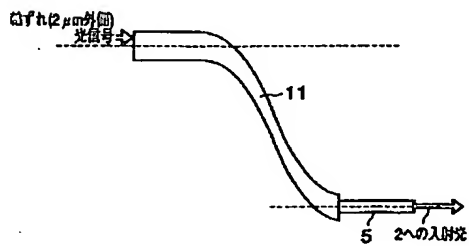
50

- 1, 1a, 1b 光入力導波路
- 2 マルチモード光干渉導波路
- 3, 3a, 3b 光出力導波路
- 4 インターフェース導波路部
- 5 狭幅直線導波路

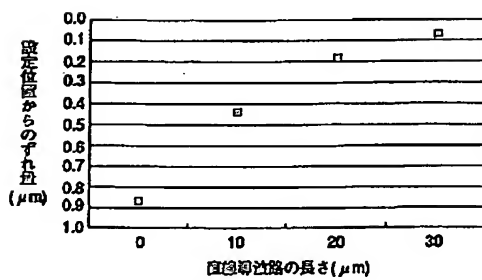
【図1】



【図3】



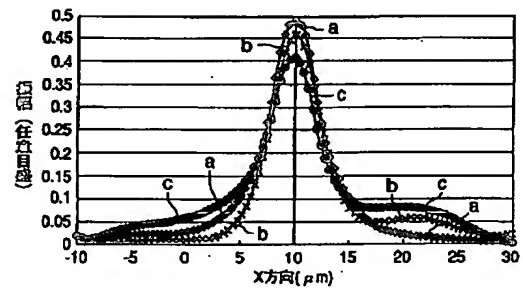
【図5】



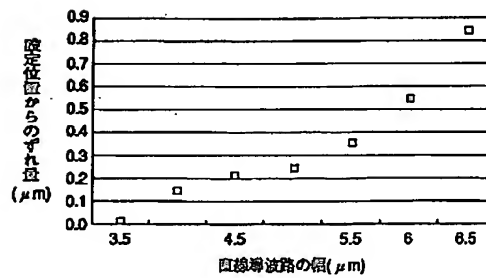
- * 7a, 7b, 7A, 7B, 7C 導波路型光カプラ
- 8a, 8b 連結導波路
- 9A, 9B 導波路型光カプラユニット
- 10 基板

*

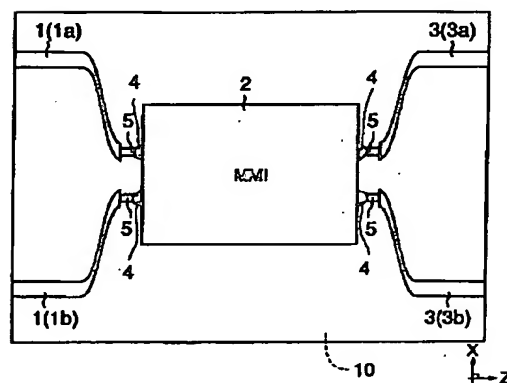
【図2】



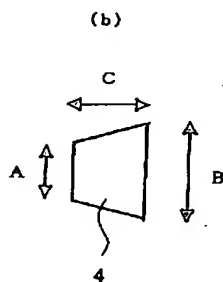
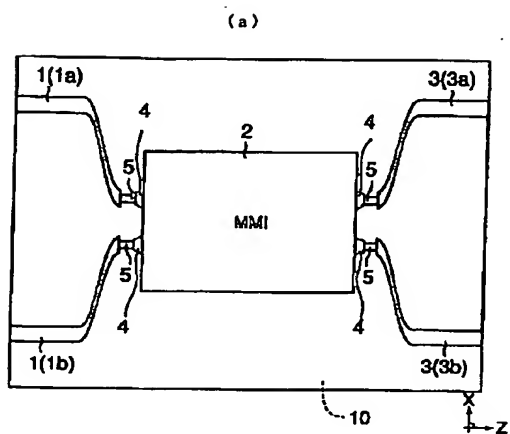
【図4】



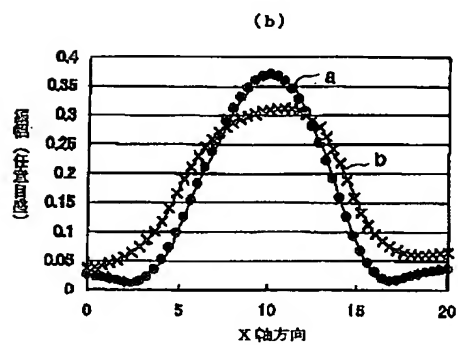
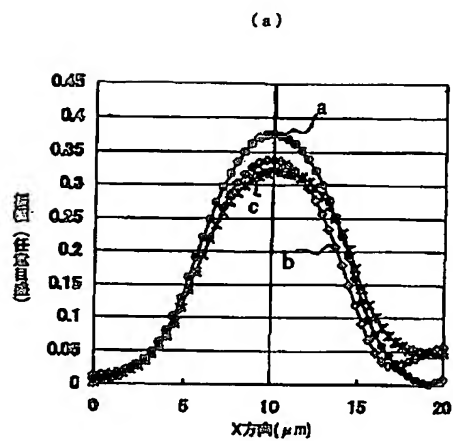
【図8】



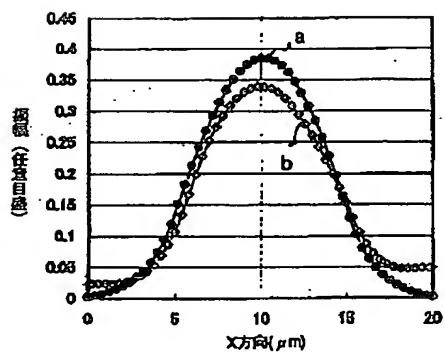
【図6】



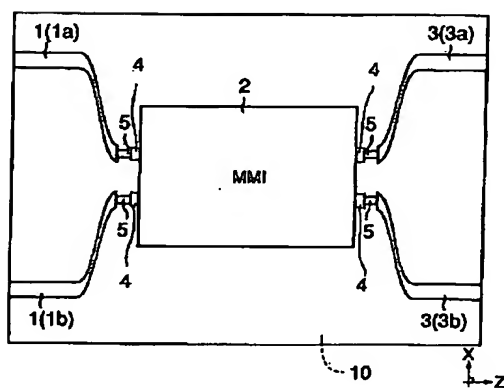
【図7】



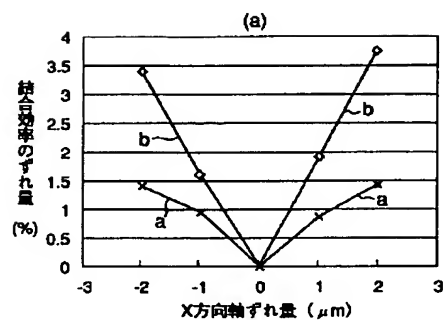
【図9】



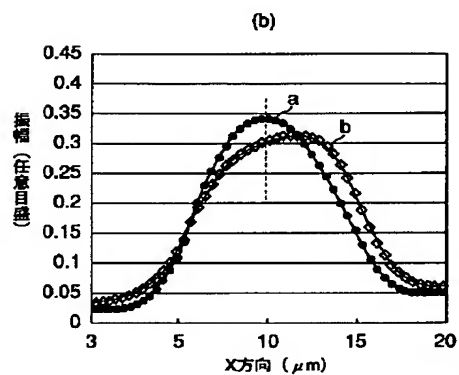
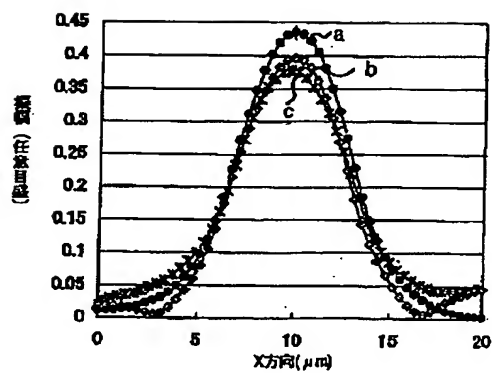
【図11】



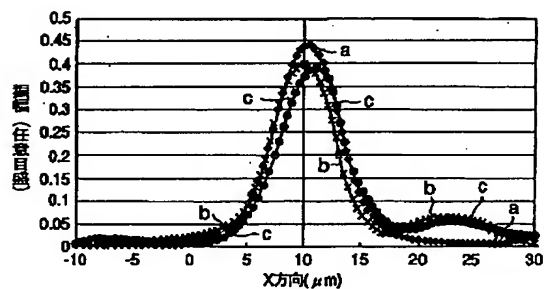
【図10】



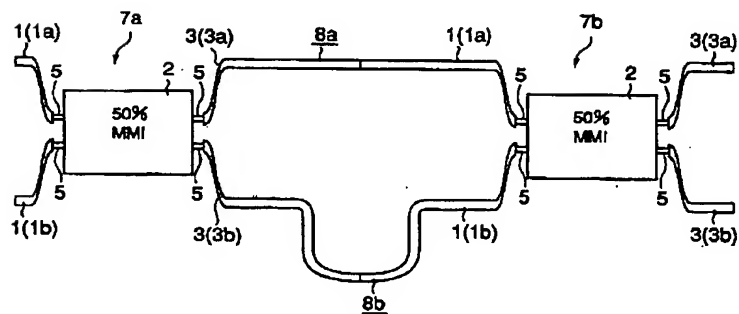
【図12】



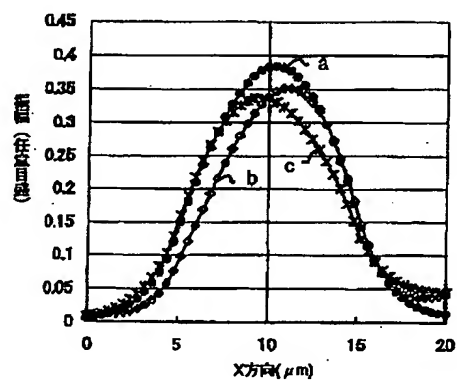
【図20】



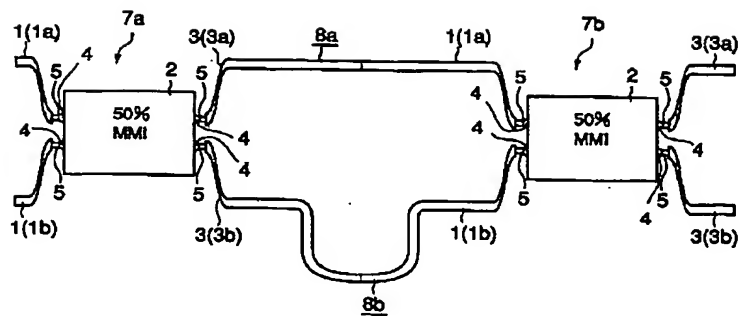
【図13】



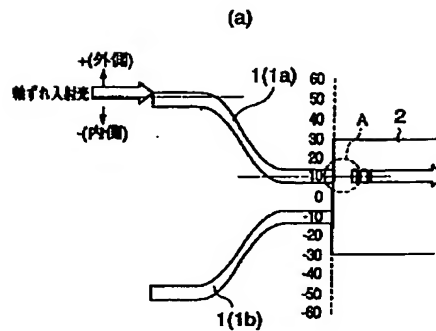
【図23】



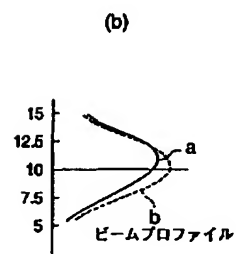
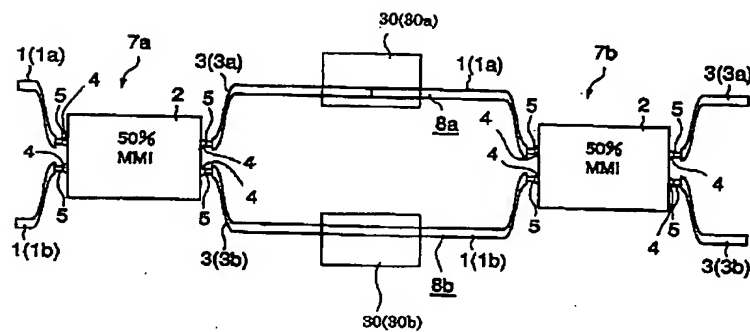
【図14】



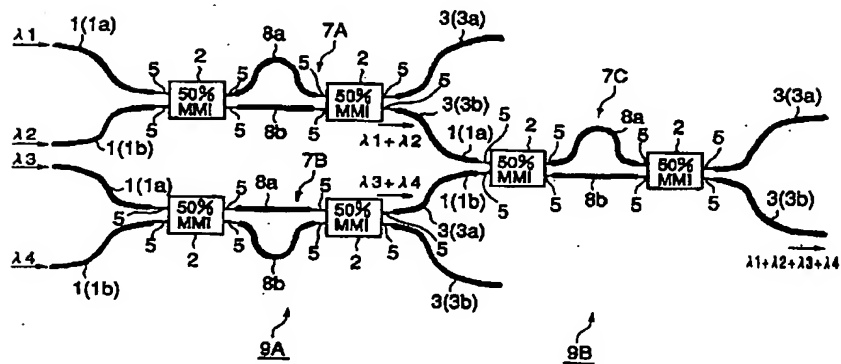
【図21】



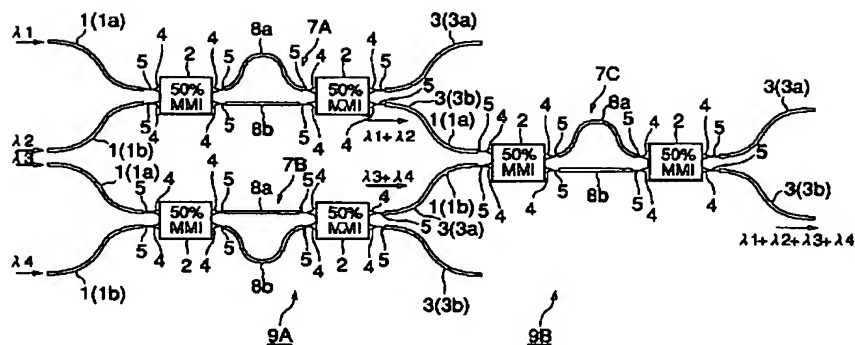
【図15】



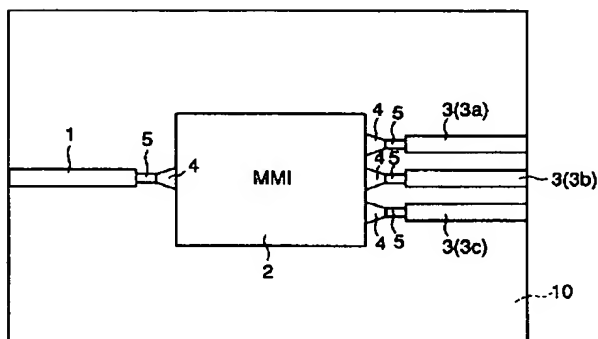
【図16】



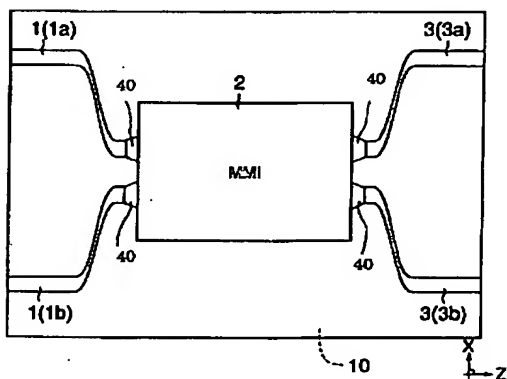
【図 17】



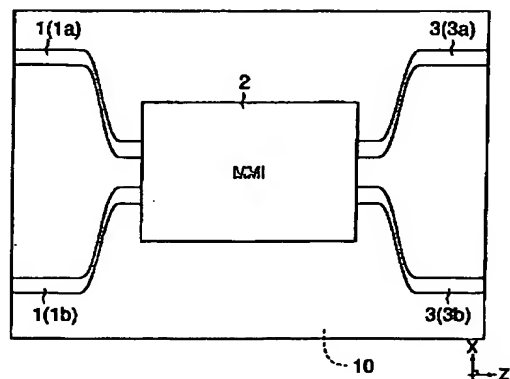
【図 18】



【図 22】



【図 19】



フロントページの続き

(72)発明者 柏原 一久
東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古
河電気工業株式会社内

Fターム(参考) 2H047 KA12 LA11 LA18 PA22 PA24
QA04